



TITLE:

火力発電機器用鉄鋼材料の高温強度に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

佐々木, 良一

CITATION:

佐々木, 良一. 火力発電機器用鉄鋼材料の高温強度に関する研究. 京都大学, 1967, 工学博士

ISSUE DATE:

1967-07-24

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/212295>

RIGHT:

氏 名	佐 々 木 良 一 さ さ き りょう いち
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 163 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	火力発電機器用鉄鋼材料の高温強度に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 平 修 二 教 授 足 立 正 雄 教 授 大 矢 根 守 哉
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

大型火力発電機器の出力増加の要求に伴い、使用蒸気の温度、圧力も逐年上昇の傾向にあり、新耐熱材料の開発ならびに既開発耐熱材料の高温強度に対する信頼あるデータの収集が重要な問題とされている。本論文は火力発電機器用鉄鋼材料の高温強度特にクリープ破断強度について、機器製作および材料国産化の立場から広汎な研究を行ない、国産材料についてその溶接継手をも含めて長時間クリープ破断強度を明らかにし、これら高温強度におよぼす熱処理その他の各種要因を分類して検討するとともに、設計の基礎資料を提供し、また経済的な新耐熱材料の開発を行なった研究成果をとりまとめたもので、序および4編、総括よりなっている。

序においては本研究の背景ならびに目的について述べている。

第1編はボイラ用材の高温強度を論じたもので、第1章の緒論では高温高圧領域で実用される耐熱金属材料の種類を述べ第1編に含まれる研究の主旨を述べている。第1章は緒論、第2章は500～550°C領域のボイラ過熱管、主蒸気管および再熱蒸気管用材としての $1\frac{1}{4}$ Cr $\frac{1}{2}$ Mo $\frac{3}{4}$ Si 鋼の高温強度特性を論じたもので、2万時間に及ぶクリープ破断試験を行なうことによって、熱処理のクリープ破断強度に及ぼす影響および試験値のばらつきを検討し、本材料の最適使用条件を明らかにしている。第3章は550～600°C領域のボイラ材として $2\frac{1}{4}$ Cr1 Mo鋼をとり上げて前章と同様な研究を行なった結果を述べたもので、この2章の記述を通じて国産フェライト系耐熱金属のボイラ用材としての適性を明らかにしている。

第4章では600°C以上の高温領域で重要なボイラ用材であるオーステナイト系金属材料として 18Cr-8NiTi 鋼および 18Cr8Ni 鋼をとり上げ、その高温強度に及ぼす熱間および冷間加工後の溶体化処理の影響を調べ、さらに 17Cr12NiMo 鋼、15-15N, AN-31, G18B 等の超合金についても同様にクリープ破断の長時間試験を行なって、試験値のばらつきを検討するとともにこれらの材料の許容応力値を与えている。特に 18Cr8NiTi 鋼は溶体化処理温度が低く結晶粒が微細なときはクリープ破断強度が低く、処理温度の上昇とともに結晶粒は粗大化してクリープ破断強度は高くなり、実用上は1100°C付近から溶体化処理

する必要があることを明らかにしている。第5章ではボイラ附属設備材料として黒心可鍛鋳鉄の長時間クリープ破断強度を述べたもので、従来本材料は 230°C が使用限度温度とされていたが、これを350°C まで引き上げて差支えないことを長時間クリープ破断試験結果により実証している。

第2編はタービン用耐熱金属材料について論じたもので、第1章の緒論にタービンの各部に主として用いられる耐熱材料について述べている。第2章はタービンケーシング用 CrMoV 鋳鋼のクリープ破断強度に及ぼす焼準時の冷却速度の影響を詳細に検討した結果を述べたもので、10°C/min までの範囲では冷却速度の大きいほどクリープ破断強度が高いことを明らかにし、また CrMoV 鋼のクリープ破断強度に及ぼす C, Cr, Mo, V, Al の影響を長時間クリープ破断試験により検討し、タービン製造過程の品質管理上、熱処理および設計の指を与えている。第3章で、CrMoV 鋼タービンロータ材のクリープ破断強度に及ぼす焼入温度、焼戻温度、焼入冷却速度の影響をクリープ破断強度より検討している。その結果、本材料は 950°C 付近から焼入し、660°C 付近で焼戻した場合最も良好な高温強度特性を示し、またクリープ破断強度を極大ならしめる焼入冷却速度が存在することを明らかにし、次いで18本のロータ製品素材から試験片を採取し、クリープ破断強度値の Scatter band を求めて許容応力設定の基礎資料を提供し、また翼植込部の強度を検討するために剪断クリープ破断強度は引張クリープ破断強度の60%程度の値になることを明らかにし、タービン翼設計上の指針を与えている。

第4章ではタービン翼用材料として具備すべき振動減衰率特性について述べたもので、12Cr 鋼をとり上げてこれの振動減衰率に及ぼす C と Cr の影響を、著者の考案になるねじり振動減衰率測定装置により検討し、併せて硬度と振動減衰率の関係をも求めている。それにそれによると、ブリネル硬さ H_B240 に調質した材料では C 0.20%で Cr 10.5%付近に振動減衰率の極大値があることを明らかにし、次いでこれらの結果を基にして、高張力高減衰率特性をもつ最終段翼用の中炭素 12CrMoNi 鋼の開発研究の結果を述べている。

第5章は高温ボルト用材について述べている。高温ボルト用材の選択ならびに設計の基準としてクリープ破断強度ならびにリラクセーション特性が重要であるとし、数種のボルト用耐熱鋼についてこれらの試験を行なうと共に、リラクセーション特性の判定の基準として速度過程の考えに基づくパラメータによるマスター曲線の概念を導入し、結果の整理の純一化に成功している。

第3編は各種耐熱鋼の熔接および熔接継手の高温強度を取り扱っている。第1章は緒論であって、第2章には各種フェライト系耐熱鋼の熔接性を調べ、熔接条件を確立した経過を述べ、さらにこれら熔接継手の組織観察ならびにクリープ破断試験の結果について論じている。

第3章はオーステナイト系鋼および合金の熔接部の強度を論じたもので、まず、Cr-Ni 系溶着鋼の長時間クリープ破断試験を行なうことによって、そのクリープ破断強度は δ フェライトが多いほど弱く、一般に溶体化処理により成分の平衡拡散が行なわれて δ フェライトは減少し、クリープ破断強度、伸びおよび絞り特性は改善されることを明らかにしている。次いで 18Cr8NiNb 鋼 18Cr8NiTi 鋼、17Cr12NiMo 鋼、15-15N, AN-31, 17-14CuMo, G18B および N155 の熔接継手のクリープ破断試験を行なってこれらの強度を明らかにし、特に 18Cr8NiNb 鋼の熔接継手強度は熔接のままでは母材強度よりかなり低下することを指摘し、ボイラー設計上の指針を与えている。

第4章は Cr 量の異なる異種金属熔接について検討している。まず、Cr 量の異なる異種金属熔接部における長時間加熱による C の移動現象を組織観察によって究明し、ついで $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 鋼と 3Cr1Mo 鋼、 $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 鋼と 9Cr1Mo 鋼および $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 鋼と 18Cr8Ni 系鋼との熔接継手のクリープ破断強度を求め、第3のものでは C の移動が少ないインコネル熔接棒で熔接し、720°C で加熱した継手が最も良好なクリープ破断強度をもつことを明らかにしている。

第4編は経済的新耐熱材料の開発に関連する研究結果について述べている。第1章は緒論、第2章では CrMo 系耐熱鋼の高温強度に及ぼす Cr の影響と 7Cr1Mo 鋼の開発について論じたもので、従来、CrMo 系鋼においては $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 鋼が最高のクリープ破断強度をもつものとされ、Cr 量がこれより増すと強度は低下するとされていたが、オーステナイト化温度を 950°C 以上として焼準焼戻しすれば、7Cr1Mo 鋼が最も高いクリープ破断強度をもち、かつ靱性も多く、そのクリープ破断強度は焼準冷却速度に鈍感であり、 $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 鋼の1.2~1.4倍、9Cr1Mo 鋼の1.3~1.5倍の強度をもち、また熔接性も良好で経済的ボイラー用鋼として有望な新鋼種であると述べている。

第3章は 9Cr1Mo 鋼を基礎として C, Nb, V, W, Y, Cu の高温強度に及ぼす影響を調べ、その結果より新たに 9Cr1Mo 2CuNbVW 鋼を開発した経過とその特性を述べている。本鋼は焼準時の冷却を 100°C/h とし、700°C 焼戻して熱処理すると、600~625°C において 18Cr8Ni 鋼に匹敵するクリープ破断強度を有し、かつ靱性に富み熱間加工性ならびに熔接性も良好で、経済的ボイラー用鋼として有望であるとしている。

第4章は CrNi 鋳鋼の 650°C におけるクリープ破断強度に及ぼす C, Cr, Ni の影響を述べている。クリープ破断強度を化学組成で表わす実験式を作成し、各元素の破断強度に対する影響係数を求め δ フェライトが生成する組成範囲では従来の説と同様これの少ないほど破断強度が多いが、完全オーステナイト域と δ フェライト生成域とではクリープ破断強度に及ぼす Cr, Ni の影響は全く相反する傾向を示し、両者の境界付近の組成が最も高いクリープ破断強度をもつことを明らかにし、従来の 15-15N, AN-31, 17-14CuMo ほどの高合金よりも Ni の少ない経済的新耐熱鋼開発の可能性があることを示唆している。

総括は本論文の研究結果を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

大型火力発電機器の出力増加には、より高温高圧力に耐える耐熱材料の開発と既開発耐熱材料の高温強度に関する信頼できる長時間試験データの収集が重要な問題となる。本論文は2万時間に及ぶ長時間クリープ破断試験を通じて各種耐熱金属材料の高温強度におよぼす各種要因を検討し、これら材料の使用条件を明確にするとともに新耐熱材料の開発の経過を述べたものである。

まずボイラー用耐熱金属材料として可能な各種材料を検討し、主として長時間クリープ破断強度を基準として、500~550°C 領域ならびに 550~600°C 領域に対してそれぞれ $1\frac{1}{4}$ Cr $\frac{1}{2}$ Mo $\frac{3}{4}$ Si 鋼ならびに $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 鋼が適当であるとして、これらのフェライト系耐熱鋼について最適熱処理条件を検討し、それぞれの材料の10万時間破断強度推定値に基づく許容応力値を与えている。さらに 600°C 以上の実用高温領域に対してはオーステナイト系耐熱鋼ならびに高合金をとり上げ、18Cr8NiTi 鋼および 18Cr8Ni 鋼

の高温強度におよぼす熱間および冷間加工後の溶体化処理の影響を調べ、前者の場合、溶体化処理温度が低く結晶粒が微細なときにはクリープ破断強度は低く、処理温度の上昇とともに結晶粒は粗大化して強度が高くなることを実証し、1100°C 付近から溶体化処理するのが適当であることを明らかにしている。さらに高温領域用材料として 17Cr12NiMo, 15-15N, AN-31, G18B の高合金の高温強度を検討し、試験値のばらつきを考慮してそれぞれの許容応力値を設定している。また過去のデータの極めて少ない黒心可鍛鋳鉄の高温強度を詳細に検討し、本材料は 350°C まで安全に使用しうることを実証している。

タービン用耐熱材料としては、ケーシング材として CrMoV 鋳鋼の適性を述べ、これの長時間クリープ破断強度におよぼす熱処理条件ならびに C, Cr, Mo, V, Al の影響を詳細に調べ、焼準時の冷却速度が 10°C/min までの範囲では冷却速度の大きい程強度が高いことを明らかにしている。タービンロータ材としては CrMoV 鋼を採り、同様の研究を行ない、本材料は 950°C 付近より焼入れ、660°C 付近で焼戻した場合最も良好な高温強度特性を示し、また高温強度の点より最適焼入冷却速度が存在することを明らかにしている。またタービン翼植込部の設計強度判定のために剪断クリープ破断試験の方法を考案し、剪断クリープ破断は引張クリープ破断強度の60%であることも明らかにしている。

タービン翼用材料としては高張力高振動減衰率の材料が要求されるが、著者は簡易なねじり振動率測定装置を開発し、クリープ破断試験と併せて、タービン翼材として最適な 12CrMoNi 鋼の開発を行なっている。

高温ボルト材としてはクリープ破断強度とともにリラクセーション特性の良好なことが要求されるが、著者はリラクセーション特性判定のために速度過程の考えに基づくパラメーターを用いてマスター曲線による試験結果の整理の方法を導入して成功している。

熔接継手の強度は高温設計上重要な問題であるが、著者はオーステナイト系およびフェライト系耐熱金属材料の同種および異種材の熔接継手のクリープ破断強度を多くの場合について調べ、異種材の熔接の場合継目を通じての C の移動が継手の強さに大きな影響をもつことを明らかにし、熔接設計の指針を与えている。

以上の研究結果に基づいて、著者は経済的新耐熱材料の開発を試み、550~600°C 領域に対して 7Cr1Mo 鋼、600~625°C 領域に対して 9Cr1Mo2CuNbVW 鋼を開発し、それらの材料の高温強度特性を在来の材料と比較している。さらに 650°C 領域の耐熱材料として CrNi 鋳鋼について高温強度に対する C, Cr, Ni の影響を検討し、組成範囲として完全オーステナイト域と δ フェライト生成域の境界付近が最も高い強度を示すことを明らかにし、高価な高合金に代る経済的合金開発の指針を与えている。

これを要するに、本論文は従来はその困難さのためにデータの極度に少なかった耐熱金属材料の長時間高温強度特性を、長時間クリープ破断試験を多数実施することにより明らかにし、これを通じて既開発耐熱材料の高温強度向上ならびに高性能火力発電用機器設計の指針を与えると共に新耐熱材料の開発を行なったもので、学術上ならびに工業上寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。